

# **CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO I AL CUARTO INFORME DE EVALUACIÓN GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO**

**RESUMEN PARA RESPONSABLES DE POLÍTICAS**



## CONTENIDO

- 3**      Introducción
- 4**      Factores Humanos y Naturales del Cambio Climático
- 7**      Observaciones Directas de los Cambios Climáticos Recientes
- 12**     Una Perspectiva Paleoclimática
- 13**     Entendimiento y Atribución del Cambio Climático
- 15**     Proyecciones de Cambios Futuros en el Clima

# RESUMEN PARA DISEÑADORES DE POLÍTICAS

## CUARTO INFORME DE EVALUACIÓN DE IPCC, GRUPO DE TRABAJO I

### **AUTORES:**

Richard B. Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan M. Gregory, Gabriele C. Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian J. Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter A. Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

### **AUTORES COLABORADORES:**

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D.A. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

### **EL PRESENTE RESUMEN PARA RESPONSABLES DE POLÍTICAS DEBERÁ CITARSE DEL SIGUIENTE MODO:**

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.



## INTRODUCCIÓN

La contribución del Grupo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático describe el estado actual del conocimiento científico de las causas dominantes del cambio climático<sup>1</sup>, el cambio climático observado, los procesos y atribución del clima, y un rango de cálculos del cambio climático futuro **proyectado**. Está basado en las evaluaciones anteriores del IPCC, e incorpora los resultados de las investigaciones de los seis últimos años. **El progreso científico desde el Tercer Informe de Evaluación (TIE) se basa en grandes cantidades de nuevos y más exhaustivos, en análisis más sofisticados de datos, en mejoras en la comprensión de procesos y en su simulación en modelos y en una exploración más extensa de los rangos de incertidumbre.**

Los fundamentos de cada uno de los epígrafes que forman este Resumen se encuentran en los capítulos correspondientes del Cuarto Informe de Evaluación, especificados entre corchetes.

(1) La expresión cambio climático para el IPCC se refiere a cualquier cambio del clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como consecuencia de la actividad humana. Esta acepción es distinta de la que se da en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, donde cambio climático se refiere a un cambio del clima directa o indirectamente debido a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima que se observa en periodos de tiempo comparables.

## FACTORES HUMANOS Y NATURALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios en la cantidad de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera, los cambios en la radiación solar y en las propiedades de la superficie terrestre alteran el equilibrio energético del sistema climático. Estos cambios se expresan en términos de forzamiento radiativo<sup>2</sup>, el cual se usa para comparar cómo un rango de factores humanos y naturales provoca influencias en el calentamiento o enfriamiento del clima global. Desde el TIE, nuevas observaciones y realización de modelos relacionados con los gases de efecto invernadero, la actividad solar, las propiedades de la superficie terrestre y algunos aspectos de los aerosoles han llevado a mejoras en las estimaciones cuantitativas del forzamiento radiativo.

Las concentraciones globales en la atmósfera de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico han aumentado **notablemente** como resultado de las actividades humanas desde 1750, y exceden, con mucho, los valores preindustriales determinados por testigos de hielo que abarcan varios miles de años (ver ilustración SPM-1). Los incrementos de las concentraciones de dióxido de carbono son debidos fundamentalmente a los combustibles fósiles, al uso y cambio de uso de suelo, mientras que los aumentos en las concentraciones de metano y óxido nítrico se deben principalmente a la agricultura. {2.3, 6.4, 7.3}.

- El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero antropogénico más importante (ver figura SPM-2). Su concentración atmosférica global ha aumentado de 280 ppm (valor preindustrial) a 379 ppm<sup>3</sup> en 2005. La concentración atmosférica de dióxido de carbono en 2005 excede, con mucho, el rango natural de los últimos 650.000 años (180 a 300 ppm) según muestran los testigos de hielo. La tasa de crecimiento de la concentración anual de CO<sub>2</sub> fue mayor durante los últimos 10 años (media de 1995-2005: 1.9 ppm por año), de lo que había sido desde el comienzo de las mediciones atmosféricas directas continuas (media de 1960-2005: 1.4 ppm por año) aunque hay una variabilidad año a año en las tasas de crecimiento. {2.3, 7.3}.
- La fuente primaria del incremento en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera desde la era preindustrial es el uso de combustibles fósiles, junto con los usos del suelo que suponen otra contribución significativa pero más pequeña. Las emisiones fósiles anuales de dióxido de carbono<sup>4</sup> han aumentado de una media de 6.4 [6.0 a 6.8]<sup>5</sup> GtC por año en los años 90 (23.5 [22.0 a 25.0] GtCO<sub>2</sub>), a unos valores de 7.2 [6.9 a 7.5] GtC por año (26.4 [25.3 a 27.5] GtCO<sub>2</sub>) en el periodo 2000-2005 (los datos de 2004 y 2005 son estimaciones). Las emisiones medias de dióxido de carbono asociadas con los cambios de uso de la tierra en los 90, se estima que fueron 1.6 [0.5 a 2.7] GtC por año (5.9 [1.8 a 9.9] GtCO<sub>2</sub>), aunque estas estimaciones presentan una alta incertidumbre.
- La concentración atmosférica global de metano aumentó de un valor preindustrial de 715 ppb a 1760 a principio de los 90 y es 1774 ppb en 2005. La concentración atmosférica de metano en 2005 supera con mucho el rango natural de los últimos 650.000 años (320 a 790 ppb) según muestran los testigos de hielo. Las tasas de crecimiento han decaído desde principios de los 90, en consonancia con unas emisiones totales (suma de fuentes naturales y antropogénicas), que se han mantenido casi constantes durante este periodo. Es muy probable<sup>6</sup> que el aumento observado en la concentración de metano sea debido a actividades antropogénicas, fundamentalmente agricultura y uso de combustibles fósiles, pero la contribución procedente de distintos tipos de fuentes no está bien determinada. {2.3, 7.4}

(2) Forzamiento radiativo es una medida de la influencia que un factor tiene en alterar el balance de energía entrante y saliente en el sistema Tierra-atmósfera y es un índice de la importancia del factor como un mecanismo potencial de cambio climático. El forzamiento positivo tiende a calentar la superficie mientras que el forzamiento negativo tiende a enfriarla. En este informe, los valores de forzamiento radiativo se refieren a cambios respecto a las condiciones preindustriales definidas en 1750 y se expresan en Vatios por metro cuadrado. (W m<sup>-2</sup>). Ver el glosario y la sección 2.2 para más datos.

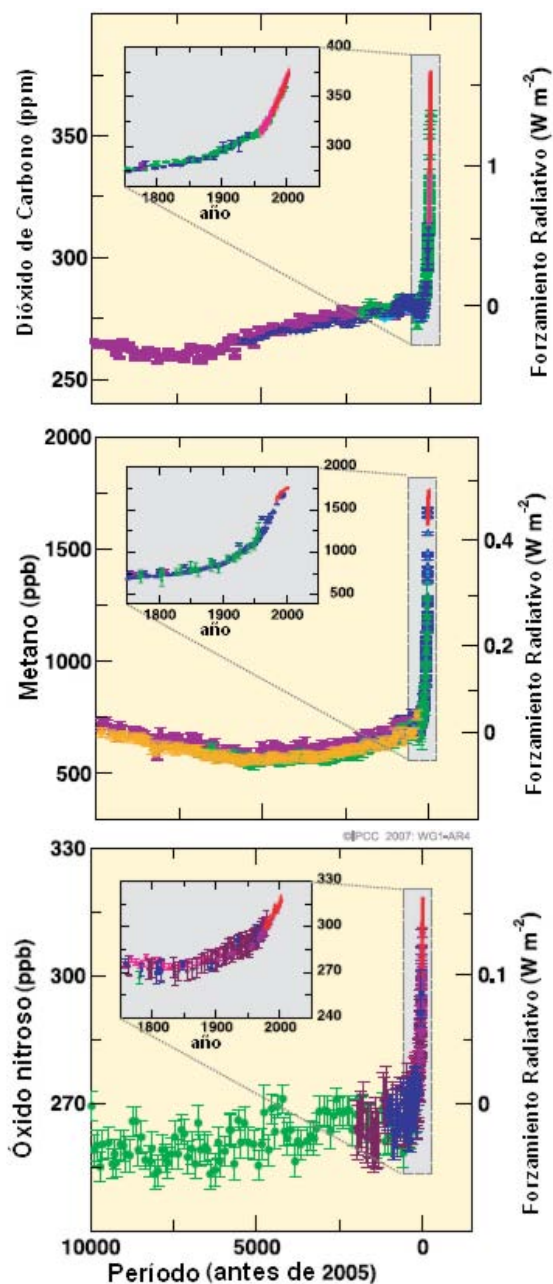
(3) ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón, 1 billón =1.000 millones) es el ratio del número de moléculas de gas de efecto invernadero con respecto al número total de moléculas de aire seco. Por ejemplo: 300 ppm significa 300 moléculas de un gas de efecto invernadero por cada millón de moléculas de aire seco.

(4) Las emisiones fósiles de dióxido de carbono incluyen aquellas procedentes de la producción, distribución y consumo de combustibles fósiles y de los derivados de la producción de cemento. La emisión de 1GtC corresponde a 3,67 GtCO<sub>2</sub>.

(5) En general, los rangos de incertidumbre de los resultados de este Resumen para Responsables de Políticas son intervalos de incertidumbre de 90%, excepto si se indica otra cosa, es decir, hay una probabilidad estimada en un 5% de que el valor pudiera estar por encima del rango dado en corchetes y en un 5% de que el valor pueda estar por debajo del rango. Las mejores estimaciones se han proporcionado cuando estaban disponibles. Los intervalos de incertidumbre no son siempre simétricos de la mejor estimación correspondiente. Nótese que ciertos rangos de incertidumbre en el Grupo de Trabajo I del TIE corresponden a 2-sigma (95%), a menudo usando criterio de experto.

(6) En este Resumen para responsables de políticas se han utilizado las siguientes expresiones para indicar la probabilidad evaluada, usando criterio de experto, de un resultado o consecuencia: prácticamente seguro (> 99 % de probabilidades de ocurrencia); extremadamente probable (>95% de probabilidades); muy probable (>90 %); probable (>66%); mas probabilidad de que sí que de que no (>50%); improbable (<33%); muy improbable (<10%); extremadamente improbable (<5%)

## CAMBIOS EN LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO DE TESTIGOS DE HIELO Y DATOS MODERNOS



**Ilustración SPM-1.** Concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico en los últimos 10000 años (correspondientes a los cuadros de mayor tamaño) y desde 1750 (cuadros de menor tamaño insertados). Las medidas se extraen de testigos de hielo (símbolos en distintos colores para distintos estudios) y muestras atmosféricas (líneas rojas). Los correspondientes forzamientos radiativos se muestran en los ejes derechos de los paneles mayores.

- La concentración de óxido nítrico en la atmósfera ha aumentado desde 270 ppb (valor preindustrial) a 319 ppb en 2005. La tasa de crecimiento ha sido prácticamente constante desde 1980. Más de un tercio de estas emisiones son antropogénicas, y debidas, fundamentalmente, a la agricultura. {2.3,7.4}.

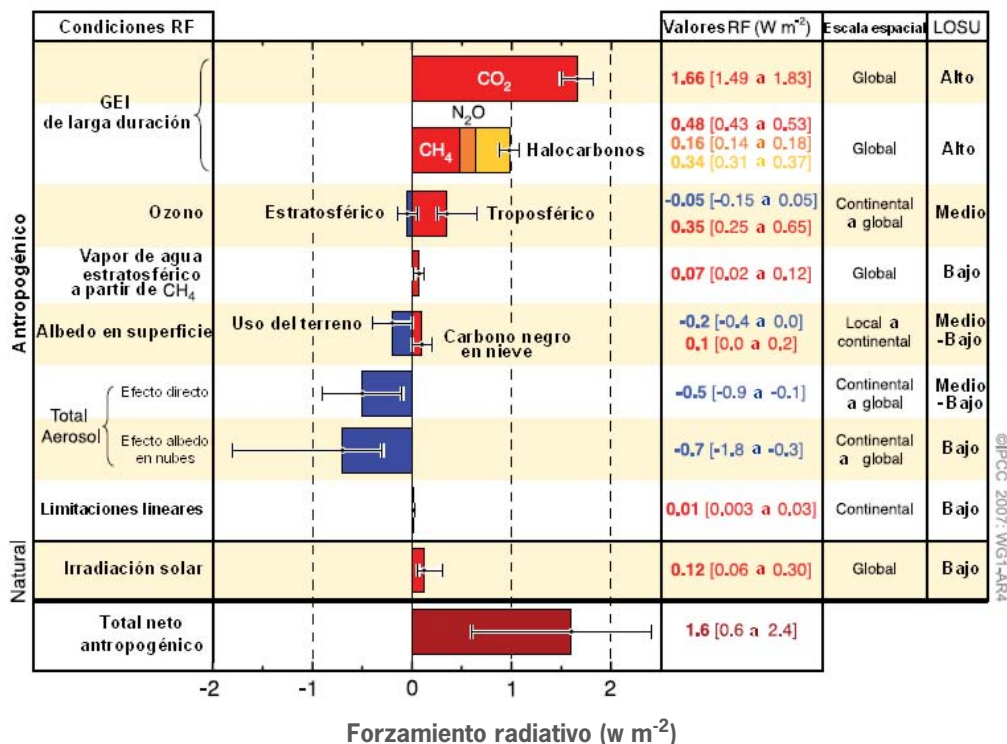
**El conocimiento de la influencia antropogénica en el calentamiento o enfriamiento del clima ha mejorado desde el Tercer Informe de Evaluación (TIE), lo que lleva a afirmar con un nivel muy alto de confianza<sup>7</sup> que el efecto neto medio de las actividades humanas desde 1750 ha resultado en un**

(7) En el Resumen para Responsables de Políticas se han usado los siguientes niveles de confianza para expresar la validez de los criterios de expertos: nivel muy alto de confianza- por lo menos 9 de 10 posibilidades de ser correcto; alto nivel de confianza- 8 de 10 posibilidades de ser correcto. (Véase casilla TS1).

**calentamiento, con un forzamiento radiativo de +1.6 [+0.6 a +2.4] W m<sup>-2</sup>. (Véase Ilustración SPM-2). {2.3, 6.5, 2.9}**

- El forzamiento radiativo combinado debido a los incrementos de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso es +2.30 [+2.07 a +2.53] W m<sup>-2</sup>, y su índice de crecimiento durante la era industrial es muy probable que no tenga precedente en más de 10.000 años (ver figuras SPM-1 y SPM-2). El forzamiento radiativo del dióxido de carbono aumentó un 20% desde 1995 a 2005, el mayor cambio en cualquier década al menos durante los últimos 200 años. {2.3, 6.4}
- Las contribuciones antropogénicas a los aerosoles (básicamente sulfato, carbono orgánico, hollín, nitrato y polvo) juntos producen efecto de enfriamiento, con un forzamiento radiativo directo total de -0.5 [-0.9 a -0.1] W m<sup>-2</sup> y un forzamiento de albedo en las nubes indirecto de -0.7 [-1.8 a -0.3] W m<sup>-2</sup>. Estos forzamientos son ahora mejor conocidos que en el momento en el que se elaboró el TIE debido a las mejoras en las mediciones in-situ, por satélite y mediciones sobre el terreno, y a la utilización de modelos más exhaustivos, pero se mantiene la incertidumbre dominante del forzamiento radiativo. Los aerosoles también influyen en la vida de las nubes y la precipitación. {2.4, 2.9, 7.5}
- Muchas otras fuentes antropogénicas contribuyen significativamente al forzamiento radiativo. Los cambios del ozono troposférico debidos a emisiones de precursores químicos de ozono (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos) contribuyen con +0.35 [+0.25 a +0.65] W m<sup>-2</sup>. El forzamiento radiativo directo debido a los cambios de los halocarbonos<sup>8</sup> es +0.34 [+0.31 a +0.37] W m<sup>-2</sup>. Los cambios en el albedo de la superficie debidos a cambios en la cobertura de la superficie terrestre y la deposición de aerosoles de hollín sobre la nieve, ejercen unos forzamientos de -0.2 [-0.4 a 0.0] y +0.1 [0.0 a +0.2] W m<sup>-2</sup> respectivamente. Términos adicionales más pequeños de +0.1 W m<sup>-2</sup> se muestran en la figura SPM-2. {2.3, 2.5, 7.2}

**COMPONENTES DEL FORZAMIENTO RADIATIVO**



**Figura SPM-2.** Estimaciones y rangos en 2005 del forzamiento radiativo medio global para dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y otros agentes y mecanismos importantes, junto con las extensiones geográficas típicas (escala espacial) del forzamiento y el nivel evaluado de conocimiento científico (LOSU). También se muestran el forzamiento antropogénico neto y su rango. Éstos requieren la suma de las incertidumbres asimétricas de los

(8) El forzamiento radiativo de los halocarbonos ha sido recientemente evaluado en detalle en un Informe Especial del IPCC sobre la salvaguarda de la capa de ozono y sobre el sistema climático global (2005).



componentes que figuran en las condiciones, y que no pueden obtenerse con una simple suma. Los factores de forzamiento adicionales no incluidos aquí se considera que tienen un LOSU muy bajo. Los aerosoles volcánicos contribuyen forzamientos naturales adicionales, pero no se incluyen en esta figura debido a su naturaleza episódica. El rango para estelas lineares no incluye posibles efectos de la aviación sobre la nubosidad. {2.9, Ilustración 2.20}

- Se ha estimado que los cambios en la irradiancia solar desde 1750 han causado un forzamiento radiativo de  $+0.12$  [ $+0.06$  a  $+0.30$ ]  $W\ m^{-2}$ , lo que es menos de la mitad de la estimación facilitada en el TIE. {2.7}

## OBSERVACIONES DIRECTAS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS RECIENTES

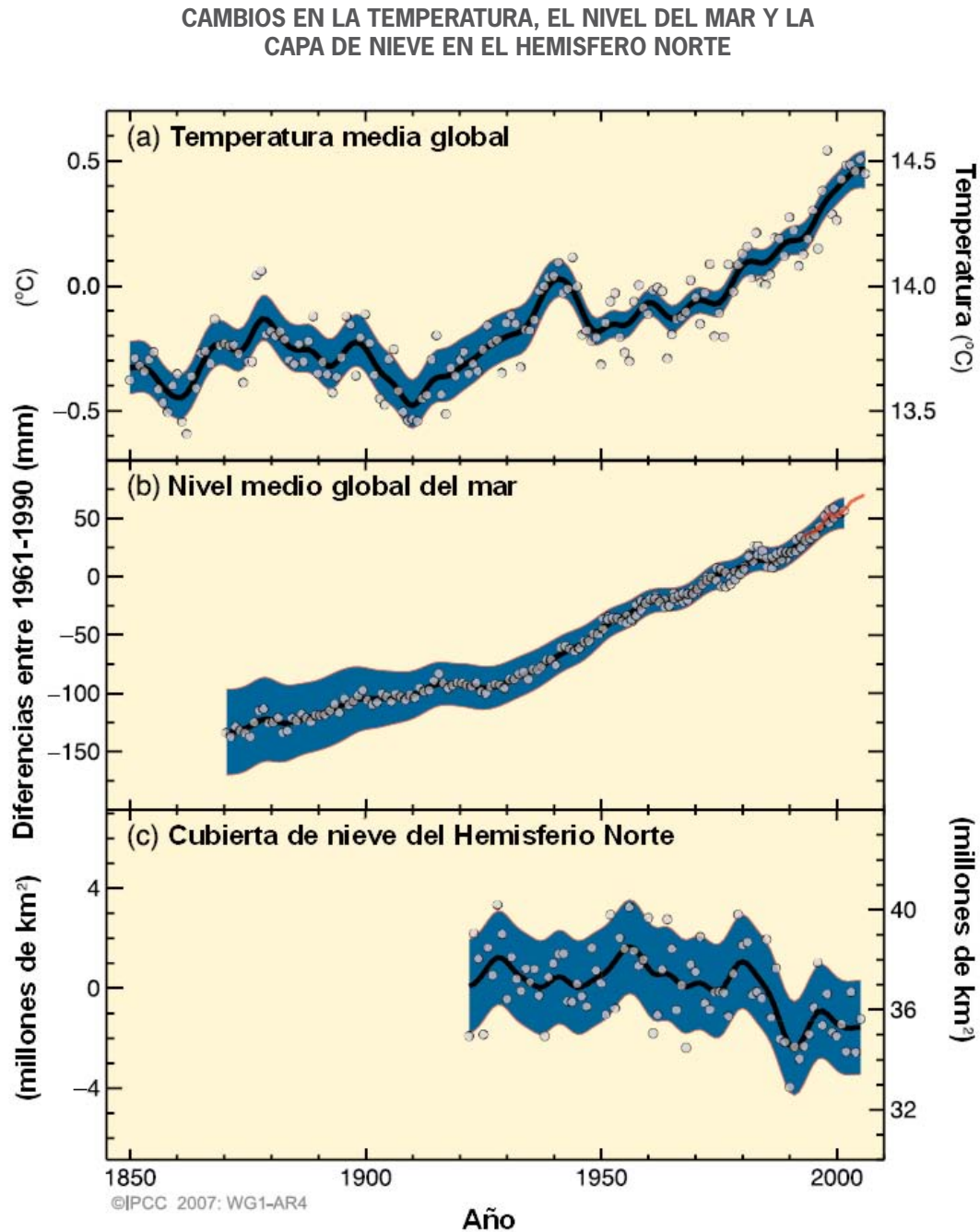
*Desde el TIE, se ha logrado un progreso en el conocimiento de como el clima está cambiando en el espacio y en el tiempo a través de la mejora y ampliación la disponibilidad de datos y análisis de datos, una mayor cobertura geográfica, mejor conocimiento de las incertidumbres, y una más amplia variedad de mediciones. Cada vez hay observaciones más exhaustivas disponibles, sobre glaciares y sobre la capa de nieve desde los años sesenta, y sobre nivel del mar y placas de hielo desde la pasada década. Sin embargo, la disponibilidad de los datos sigue siendo limitada en algunas regiones.*

**El calentamiento del sistema climático es inequívoco, tal y como evidencian ahora las observaciones de los incrementos en las temperaturas medias del aire y los océanos, el derretimiento generalizado de hielo y nieve y el incremento medio global del nivel del mar (ver figura SPM-3). {3.2, 4.2, 5.5}**

- Once de los últimos doce años (1995-2006) están en el ranking de los doce años más calurosos en los registros instrumentales de temperaturas de superficie<sup>9</sup> (desde 1850). La tendencia lineal actualizada para un período de 100 años (1906-2005), es de  $0,74$  [ $0,55$  a  $0,92$ ]  $^{\circ}C$ , por lo tanto es mayor que la tendencia equivalente estimada para el período de 1901 a 2000, recogida en el TIE, que era de  $0,6$  [ $0,4$  a  $0,8$ ]  $^{\circ}C$ . La tendencia lineal de calentamiento de los últimos 50 años ( $0,13$  [ $0,10$  a  $0,16$ ]  $^{\circ}C$  por década) es casi el doble que para los últimos 100 años. El incremento total de temperatura desde 1850-1899 hasta 2001-2005 es  $0,76$  [de  $0,57^{\circ}C$  a  $0,95^{\circ}C$ ]. El efecto isla de calor urbano es real pero local, y tiene una influencia despreciable (menos de  $0,006^{\circ}C$  por década en la tierra y cero en los océanos) sobre estos valores. {3.2}
- Nuevos análisis de mediciones, por globos estratosféricos y via satélite, de temperaturas de las capas baja y media de la troposfera muestran tasas de calentamiento que son similares a las de los registros de temperaturas de superficie y son coherentes con sus respectivas incertidumbres, solucionando en gran parte la discrepancia apuntada en el TIE. {3.2, 3.4}
- El contenido medio de vapor de agua en la atmósfera ha aumentado desde, al menos, los años ochenta sobre la tierra y los océanos, así como en la troposfera superior. Este incremento es coherente con la cantidad extra de vapor de agua que el aire más cálido puede contener. {3.4.}
- Las observaciones desde 1961 muestran que la media de temperatura del océano ha aumentado hasta profundidades de, al menos, 3000 metros, y que el océano ha estado absorbiendo más del 80% del calor añadido al sistema climático. Este calentamiento hace que el agua de mar se expanda, contribuyendo al aumento del nivel del mar (tabla SPM-1). {5.2, 5.5}

(9) La media de la temperatura del aire cercano a la superficie de la tierra, y la temperatura de la superficie del mar

- La **media** de los glaciares de montaña y la capa de nieve ha disminuido en ambos hemisferios. Las reducciones **generalizadas** de glaciares y casquetes de hielo contribuyeron al aumento del nivel del mar (los casquetes de hielo no incluyen las contribuciones de las placas de hielo de Groenlandia y la Antártida) (ver tabla SPM-1) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}



**Ilustración SPM-3.** Cambios observados en (a) la temperatura media de la superficie; (b) en el aumento medio del nivel del mar de datos medidores de mareas (azul) y satélite (rojo) y (c) en la capa de nieve en el hemisferio norte en marzo-abril. Todos los cambios se expresan respecto a las medias del periodo 1961-1990. Las curvas suavizadas y las áreas sombreadas representan valores medios de la década, mientras que los círculos muestran los valores anuales. Las zonas sombreadas representan los intervalos de incertidumbre estimados a partir de un análisis exhaustivo de las incertidumbres conocidas (a y b) y de las series de tiempo (d). {FAQ 3.1, Ilustraciones 1, 4.2 y 5.13}

- Datos nuevos posteriores al TIE muestran que las pérdidas en las placas de hielo de Groenlandia y la Antártida han contribuido muy probablemente al aumento del nivel del mar desde 1993 a 2003 (tabla SMP-1). La velocidad de flujo ha aumentado para algunas descargas de glaciares de Groenlandia y la Antártida, las cuales drenan hielo del interior de las plataformas de hielo. El incremento correspondiente en la pérdida de masa en las placas de hielo normalmente va seguido de un adelgazamiento, reducción o pérdida de plataformas de hielo o pérdidas en las lenguas de los glaciares. Esta pérdida dinámica de hielo es suficiente para explicar la mayor parte de la pérdida neta de masa de la Antártida y aproximadamente la mitad de la pérdida de masa neta de Groenlandia. El resto de la pérdida de hielo de Groenlandia ha sucedido porque las pérdidas causadas por derretimiento han superado la acumulación de nieve. {4.6, 4.8, 5.5}
- El nivel medio del mar creció con un índice medio de 1,8 [1,3 a 2,3] mm/año entre 1961 y 2003. La tasa fue mas rápida entre 1993 y 2003 (3,1 [2,4 a 3,8] mm/año). No está claro si el índice de crecimiento mas rápido para el periodo 1993-2003 refleja una variabilidad en la década o un incremento en las tendencias a largo plazo. Hay un nivel de confianza alto en que el índice de incremento de nivel del mar observado aumentó del siglo XIX al siglo XX y el incremento total del siglo XX se estima en 0,17 [0,12 a 0,22] m. {5.5}
- Para el periodo 1993-2003, la suma de las contribuciones del clima es consistente con el aumento total del nivel del mar observado directamente, dentro de las incertidumbres (ver tabla SMP-1). Estas estimaciones están basadas en datos actualmente disponibles y mejorados de mediciones de satélite y mediciones in-situ. Para el período desde 1961 a 2003, la suma de las contribuciones del clima se estima que es menor que el aumento del nivel del mar observado. El TIE informó de una discrepancia similar para el periodo 1910-1990. {5.5}

**A escala continental, regional y de cuenca oceánica, se han observado numerosos cambios a largo plazo en el clima. Estos cambios incluyen cambios en el hielo y las temperaturas del Ártico, cambios generalizados en la cantidad de precipitación, salinidad de los océanos, patrones de viento, y aspectos de tiempo extremo, que incluyen sequías, fuertes precipitaciones , olas de calor e intensidad de ciclones tropicales<sup>10</sup>. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}**

- Las temperaturas medias del Ártico se incrementaron en casi el doble del índice medio en los últimos 100 años. Las temperaturas árticas tienen alta variabilidad dentro de las décadas y se observó un periodo cálido entre 1925 y 1945. {3.2}
- Los datos de satélite desde 1978 muestran que la media anual de extensión de hielo marino en el Ártico se ha reducido un 2,7 [2,1 a 3,3] % por década, con decrecimientos mayores en verano (7,4 [5,0 a 9,8] % por década). Estos valores están en consonancia con los que mostró el TIE. {4.4}
- Las temperaturas en la capa alta del permafrost del Ártico generalmente se han incrementado desde los años 80 (hasta en 3°C). El área máxima cubierta por suelo estacionalmente helado ha disminuido aproximadamente en un 7% en el hemisferio norte desde 1990, con un decrecimiento en primavera de hasta el 15%. {4.7}
- En algunas grandes regiones, se han analizado las tendencias a largo plazo en la cantidad de precipitaciones desde 1900 a 2005. Se ha observado un aumento significativo de las precipitaciones en la parte este de América del norte y Sudamérica, en el norte de Europa y en el norte de Asia y Asia central. Se ha observado desecamiento en el Sáhel, el Mediterráneo, África del sur y partes del sur de Asia. La precipitación es altamente variable, espacial y temporalmente, y faltan datos en algunas regiones. No se han observado tendencias fiables a largo plazo para las demás grandes regiones evaluadas<sup>11</sup>. {3.3, 3.9}
- Se indican cambios en la precipitación y la evaporación sobre los océanos por el refrescamiento de las aguas de latitudes medias y altas junto con un aumento de salinidad en aguas de baja latitud. {5.2}

(10) Los ciclones tropicales incluyen tifones y huracanes

(11) Las regiones evaluadas son aquellas consideradas en el capítulo de las proyecciones regionales del TIE y en el capítulo 11 de este Informe.

**Tabla SPM-1.** Calentamiento de la superficie y aumento del nivel del mar medios proyectados al final del siglo XXI para diferentes modelos. Las proyecciones del nivel del mar no incluyen incertidumbres de retroacciones en el ciclo del carbono, porque no hay literatura suficiente publicada.

Fuente de aumento del nivel del mar	Tasa del aumento del nivel del mar (mm por año)	
	1961-2003	1993-2003
Expansión térmica	0,42±0,12	1,6±0,5
Glaciares y casquetes polares	0,50±0,18	0,77±0,22
Placa de hielo de Groenlandia	0,50±0,12	0,21±0,07
Placa de hielo de la Antártida	0,14±0,41	0,21±0,35
Suma de contribuciones climáticas individuales al incremento del nivel del mar	1,1±0,5	2,8±0,7
Incremento del nivel del mar total observado	1,8±0,5a	3,1±0,7a
Diferencia (observado menos la suma de las contribuciones climáticas estimadas)	0,7±0,7	0,3±1,0

Nota de la Tabla:

<sup>a</sup> Los datos anteriores a 1993 provienen de mareógrafos y después de 1993 de altimetría vía satélite.

a. Los vientos del oeste de latitud media son más fuertes en ambos hemisferios desde los años 60. {3.5}

b. Se han observado sequías más largas y más intensas en áreas más amplias desde los años 70, particularmente en los trópicos y subtrópicos. El aumento del desecamiento, vinculado a unas temperaturas más altas y a la disminución de las precipitaciones, ha contribuido a cambios en las sequías. Los cambios en las temperaturas de la superficie del mar (TSM), los patrones de viento, y la disminución de los neveros y de la capa de nieve se han vinculado también a las sequías. {3.3}

c. La frecuencia de episodios de precipitaciones fuertes se ha incrementado en la mayoría de las áreas, en concordancia con el calentamiento y el incremento del vapor de agua observado en la atmósfera. {3.8, 3.9}

d. Se han observado cambios generalizados en las temperaturas extremas durante los últimos 50 años. Los días fríos, las noches frías y las heladas han empezado a ser menos frecuentes, mientras que la cantidad de días calurosos, noches calurosas y olas de calor han aumentados (ver tabla SPM-2). {3.8}

**Tabla SPM-2.** Tendencias recientes, valoración de la influencia humana en las tendencias y proyecciones para episodios de clima extremo para los que hay una tendencia observada a finales del siglo XX. (Tablas 3.7, 3.8, 9.4; secciones 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9)

Fenómeno y dirección de la tendencia	Probabilidad de que la tendencia ocurriera a finales del siglo XX (generalmente después de 1960)	Probabilidad de influencia humana en las tendencias observadas <sup>b</sup>	Probabilidad de las tendencias basada en proyecciones para el siglo XXI usando escenarios SRES
Días y noches más cálidos y menos fríos en la mayoría de las superficies	Muy probable <sup>c</sup>	Probable <sup>d</sup>	Prácticamente cierto <sup>d</sup>
Días y noches más cálidos y más frecuentemente calurosos en la mayoría de las superficies	Muy probable <sup>e</sup>	Probable (noches) <sup>d</sup>	Prácticamente cierto
Períodos cálidos / olas de calor. Incrementos de la mayoría de las superficies.	Probable	Más probabilidad de que sí que de no <sup>i</sup>	Muy probable
Episodios de precipitaciones fuertes. Incrementos de frecuencia (o proporción de pluviosidad total de lluvias fuertes) en la mayoría de las superficies	Probable	Más probabilidad de que sí que de no <sup>i</sup>	Muy probable
Incremento de las áreas afectadas por sequías	Probable en muchas regiones desde los años 70	Más probabilidad de que sí que de no	Probable
Incremento de la actividad de los ciclones intensos.	Probable en algunas regiones desde los años 70	Más probabilidad de que sí que de no <sup>i</sup>	Probable
Incremento de la incidencia de nivel del mar alto extremo (excluye tsunamis) <sup>g</sup>	Probable	Más probabilidad de que sí que de no <sup>h</sup>	Probable

Notas:

- Véase tabla 3.7 para más detalles sobre las definiciones.
- Véase tabla TS4, Casilla TS5 y tabla 9.4.
- Frecuencia decreciente de días/noches fríos (más fríos, 10%)
- Calentamiento de los días/noches más extremos cada año.
- Frecuencia decreciente de días/noches cálidos (más calurosos, 10%)
- Magnitud de la contribución antropogénica no evaluada. Atribución de estos fenómenos basados en criterios de expertos más que en estudios de atribución formales.
- Nivel de elevación del mar extremo dependiente de la media del nivel del mar y de los sistemas climáticos regionales. Aquí está definido como el 1% de la tasa horaria más elevada del nivel del mar observado en una estación para un período de referencia dado.
- Los cambios observados en la elevación extrema del nivel del mar siguen de cerca los cambios en la media del nivel del mar. {5.5} Es muy probable que la actividad antropogénica haya contribuido a un incremento del nivel medio del mar {9.5}
- En todos los escenarios, la media global proyectada del nivel del mar en 2100 es mayor que en el período de referencia. {10.6} El efecto de los cambios de los sistemas climáticos regionales en niveles extremos del mar no ha sido evaluado.

- Las observaciones muestran la evidencia de un incremento en la actividad de ciclones intensos en el Atlántico norte desde aproximadamente 1970, relacionado con el calentamiento observado de la temperatura de la superficie del mar (TSM) en los trópicos. Hay evidencias de un incremento en la intensidad de la actividad de los ciclones tropicales en otras regiones, donde la preocupación sobre la calidad de los datos es mayor. La variabilidad en múltiples décadas y la calidad de los registros de ciclones tropicales antes de la existencia de observaciones rutinarias por satélite, en torno a 1970, hacen más complicada la detección de tendencias a largo plazo en la actividad de los ciclones tropicales. No hay una tendencia clara en el número anual de ciclones tropicales. {3.8}

#### NO SE HAN OBSERVADO CAMBIOS EN ALGUNOS ASPECTOS DEL CLIMA {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

- El TIE informó de un decrecimiento en el rango de temperaturas diurnas (RTD), pero los datos disponibles entonces se extendían solamente de 1950 a 1993. Las observaciones actualizadas revelan que el RTD no ha cambiado de 1979 a 2004, debido a que las temperaturas del día y de la noche han aumentado en la misma magnitud. Las tendencias son muy variables de unas regiones a otras. {3.2}
- La extensión del hielo del mar de la Antártida continúa mostrando variabilidad interanual y cambios localizados, pero no muestra tendencias medias estadísticamente significativas, en concordancia con la falta de calentamiento reflejado en las temperaturas atmosféricas medias a través de la región. {3.2, 4.4}
- No hay evidencias suficientes para determinar si existen tendencias en la circulación meridional de retorno del océano o en fenómenos a pequeña escala como tornados, granizo, relámpagos y tormentas de polvo. {3.8,5.3}

## UNA PERSPECTIVA PALEOCLIMÁTICA

Los estudios paleoclimáticos utilizan cambios en indicadores sensibles climáticamente para deducir cambios pasados en el clima a nivel global en escalas de tiempo que van desde décadas a millones de años. Esos datos asimilados (por ejemplo, anchura de los anillos de los árboles) pueden sufrir la influencia de las temperaturas locales y de otros factores tales como la precipitación y son, a menudo, representativos de estaciones concretas más que de años completos. Estudios realizados desde el TIE aumentan la confianza a partir de datos adicionales que muestran el comportamiento coherente de múltiples indicadores en diferentes partes del mundo. Sin embargo, las incertidumbres aumentan generalmente hacia el pasado, debido a una cada vez más limitada cobertura espacial.

**La información paleoclimática apoya la interpretación de que el calor de la última mitad del siglo pasado es inusual al menos en los últimos 1300 años. La última vez que las regiones polares fueron significativamente más cálidas que ahora por un período extenso (hace unos 125.000 años), las reducciones en el volumen de hielo polar produjeron un aumento del nivel del mar de 4-6 m. {6.4, 6.6}**

- Las temperaturas medias del Hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX fueron *mu*y probablemente más elevadas que durante cualquier otro período de 50 años en los últimos 500 años, y probablemente las más elevadas que en, por lo menos, los últimos 1300 años. Algunos estudios recientes indican una mayor variabilidad en las temperaturas del hemisferio norte que la que se indicaba en el TIE, habiendo períodos en particular más frescos durante los siglos XII a XIV, XVII y XIX. Los períodos más cálidos anteriores al siglo XX están dentro del rango de incertidumbre proporcionado en el TIE. {6.6}
- La media del nivel del mar en el último período interglaciar (hace unos 125.000 años) era probablemente de 4 a 6 m más elevada que durante el siglo XX, principalmente debido al retroceso del hielo polar. Los datos de testigos de hielo indican que las temperaturas polares medias en aquella época eran de 3 a 5°C superiores que en el presente, debido a las diferencias en la órbita de la Tierra. La plataforma de hielo de Groenlandia y otros campos de hielo árticos probablemente contribuyeron con no más de 4 m al aumento del nivel del mar observado. También debió haber contribución de la Antártida. {6.4}

# ENTENDIMIENTO Y ATRIBUCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

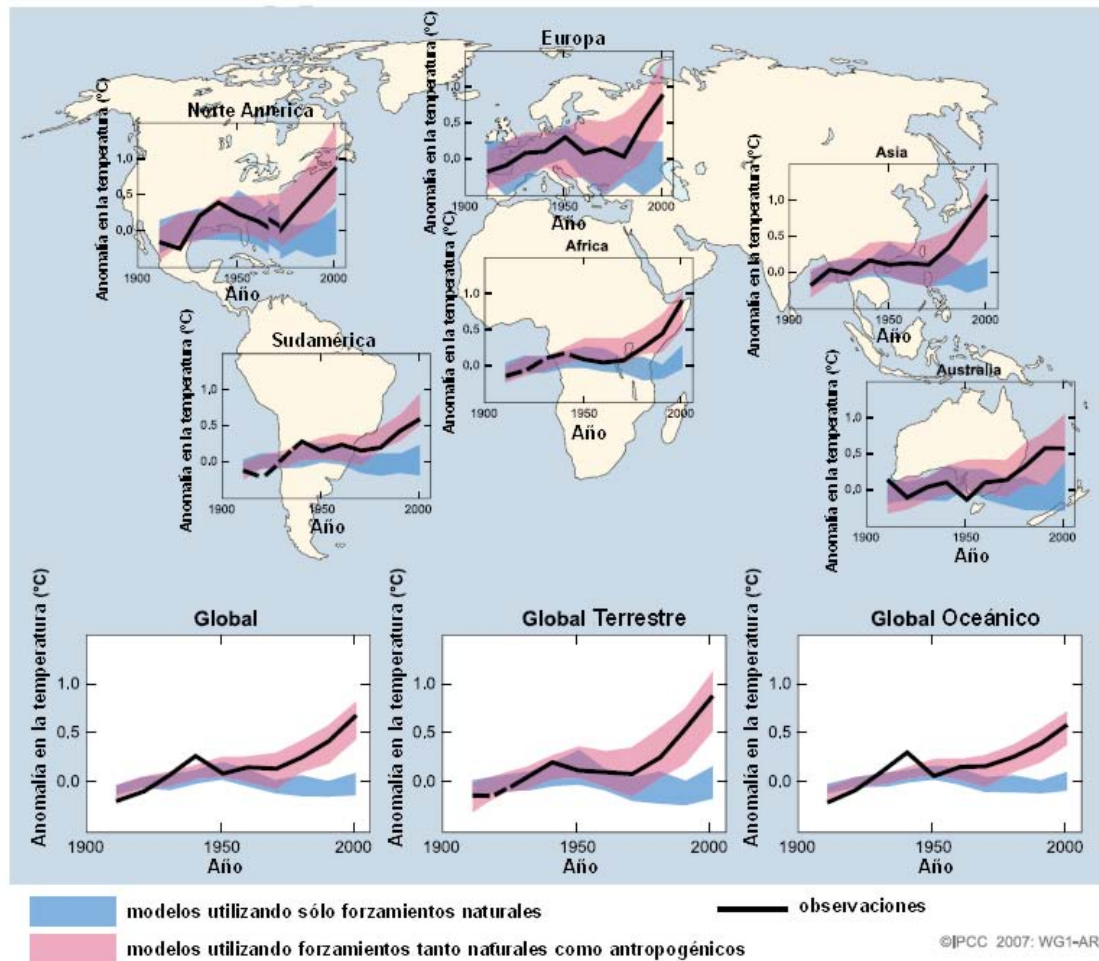
Esta evaluación considera registros más largos y mejorados, un rango más amplio de observaciones y mejoras en la simulación de muchos aspectos del clima y su variabilidad basada en estudios realizados desde el TIE. También considera los resultados de los nuevos estudios de atribución que han evaluado si los cambios observados son consistentes cuantitativamente con la respuesta esperada a forzamientos externos e inconsistentes con explicaciones alternativas plausibles físicamente.

**La mayor parte del incremento observado desde la mitad del siglo XX en las temperaturas medias se debe, muy probablemente, a los aumentos observados en los gases de efecto invernadero antropogénicos<sup>12</sup>. Esto supone un avance desde las conclusiones del TIE donde “la mayoría del calentamiento observado durante los últimos 50 años es probablemente debido al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero”. Las influencias humanas perceptibles se extienden ahora a otros aspectos del clima, incluyendo el calentamiento del océano, las temperaturas medias continentales, temperaturas extremas y patrones de viento (ver figura SPM-4 y tabla SPM-2). {9.4, 9.5}**

- Es *probable* que los incrementos en las concentraciones de gases de efecto invernadero por sí solos hayan causado más calentamiento del observado, ya que los aerosoles volcánicos y antropogénicos han compensado parte del calentamiento que, de otro modo, hubiese tenido lugar. {2.9, 7.5, 9.4}
- El calentamiento observado de la atmósfera y el océano, junto con la pérdida de masa de hielo, apoya la conclusión de que es *extremadamente improbable* que el cambio climático de los últimos cincuenta años sea explicado sin forzamientos externos, y muy probable que no sea debido únicamente a causas naturales conocidas. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- El calentamiento del sistema climático se ha detectado en cambios en las temperaturas de la superficie y de la atmósfera, en las temperaturas de las capas superiores del océano a *varios cientos de metros* y en las contribuciones al aumento del nivel del mar. Los estudios de atribución han establecido contribuciones antropogénicas a todos estos cambios. El patrón observado del calentamiento troposférico y el enfriamiento estratosférico es muy probablemente debido a la combinación de las influencias de los gases de efecto invernadero y la depleción del ozono estratosférico. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- Es *probable* que haya habido un calentamiento antropogénico significativo durante los últimos 50 años para cada continente excepto para la Antártida (ver figura SPM-4). Los patrones de calentamiento observados, incluyendo el calentamiento mayor en la tierra que en los océanos, y sus cambios a lo largo del tiempo, son sólo simulados por modelos que incluyen el forzamiento antropogénico. La habilidad de modelos climáticos unidos para simular la evolución de la temperatura observada en cada uno de los seis continentes proporciona una evidencia más fuerte de la influencia humana de la que se especificaba en el TIE. {3.2, 9.4}

(12) La consideración de incertidumbres restantes esta basada en metodologías actuales.

## CAMBIO DE TEMPERATURA GLOBAL Y CONTINENTAL



**Ilustración SPM-4.** Comparación de los cambios a escala global y continental en la temperatura del aire de superficie con resultados simulados por los modelos climáticos utilizando forzamientos naturales y antropogénicos. Las medias decadales de las observaciones corresponden al periodo de 1906 a 2005 (línea negra) comparados con el centro de la década y relacionadas con la correspondiente media para el periodo 1901-1950. Las líneas son discontinuas cuando la cobertura espacial es menor del 50%. Las bandas azules muestran el rango 5-95% para 19 simulaciones de 5 modelos climáticos que utilizan sólo forzamientos naturales debidos a actividad solar y volcanes. Las bandas rojas muestran el rango 5-95% para 58 simulaciones de 14 modelos climáticos que utilizan forzamientos naturales y antropogénicos. {FAQ 9.2, Ilustración 1}

- La dificultad está en realizar una simulación fidedigna y en la atribución de los cambios observados de temperatura a menor escala. En estas escalas, la variabilidad natural climática es relativamente mayor, haciendo más difícil distinguir los cambios esperados debidos a forzamientos externos. Las incertidumbres y retroacciones en forzamientos locales también dificultan la estimación de la contribución del incremento de los gases de efecto invernadero a los cambios de temperatura observados a pequeña escala. {8.3, 9.4}
- El forzamiento antropogénico *probablemente* ha contribuido a los cambios en los patrones de viento<sup>13</sup>, afectando a las trayectorias ciclónicas extra-tropicales y los patrones de temperatura en ambos hemisferios. No obstante, los cambios observados en la circulación del hemisferio norte son mayores que los simulados en respuesta al cambio de forzamiento del siglo XX. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}
- Las temperaturas de las noches cálidas más extremas, las noches frías y los días fríos *probablemente* han aumentado debido a un forzamiento antropogénico. Hay más probabilidad de que el forzamiento antropogénico haya aumentado el riesgo de olas de calor que de que no lo haya hecho (ver tabla SPM-2). {9.4}

(13) En particular, los Modos Anulares del Sur y el Norte y los cambios relacionados en la Oscilación del Atlántico Norte {3.6, 9.5, Casilla TS.2}



**El análisis de los modelos climáticos junto con las limitaciones de las observaciones permiten dar un rango de probabilidad evaluado para la sensibilidad del clima por vez primera y proporcionan una confianza mayor en la comprensión de la respuesta del sistema climático al forzamiento radiativo {6.6, 8.6, 9.6. Casilla 10.2}**

- La **sensibilidad** en el equilibrio del clima es una medida de la respuesta del sistema climático al forzamiento radiativo sostenido. No es una proyección, pero se define como la media global del calentamiento de la superficie tras la **duplicación** de las concentraciones de dióxido de carbono. Es *probable* que esté en el rango de 2 a 4,5°C sobre los valores preindustriales, con una mejor estimación de unos 3°C y es *muy improbable* que sea menor de 1,5°C. Valores sustancialmente más altos de 4,5°C no pueden ser excluidos, pero la concordancia de los modelos y las observaciones no es muy buena para esos valores. Los cambios en el vapor de agua representan la mayor retroacción que afecta a la sensibilidad del clima y son mejor conocidas ahora que en el TIE. Las retroacciones de las nubes se mantienen en una incertidumbre mayor. {8.6, 9.6, Casilla 10.2}
- Es *muy improbable* que los cambios climáticos de al menos siete siglos anteriores a 1950 fuesen debidos solamente a la variabilidad generada dentro del sistema climático. Es también *muy probable* que una significativa fracción de la variabilidad de las temperaturas interdecadales reconstruidas para el hemisferio norte de esos siglos sea atribuible a erupciones volcánicas y cambios en las irradiancias solares, y es *probable* que los forzamientos antropogénicos hayan contribuido al evidente calentamiento **evidente** a principios del siglo XX en estos registros. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

## PROYECCIONES DE CAMBIOS FUTUROS EN EL CLIMA

*La mayor ventaja de esta evaluación en cuanto a las previsiones de cambio climático, en comparación con el TIE, es el amplio número de simulaciones disponibles, a partir de un mayor número de modelos. Conjuntamente con la información adicional de las observaciones, aportan una base cuantitativa para la estimación de probabilidades de calentamiento futuro. Las simulaciones con modelos cubren un rango de futuros posibles, incluyendo suposiciones de emisiones o concentraciones idealizadas. Éstas incluyen los proyectos de escenarios indicativos del IE-EE<sup>14</sup> para el período 2000-2100 y experimentos con modelos con concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles que se mantienen constantes después del año 2000 a 2100.*

**Para las próximas dos décadas, las proyecciones apuntan a un calentamiento de unos 0,2°C para un rango de escenarios de emisiones de IE-EE. Si las concentraciones se hubieran estabilizado en los niveles del año 2000, podría esperarse un calentamiento de 0,1°C por década. {10.3, 10.3}**

- Desde el primer informe del IPCC en 1990, las proyecciones analizadas sugerían un incremento de la temperatura media entre 0,15 y 0,3°C por década para el periodo comprendido entre 1990 y 2005. Esto puede ser comparado ahora con los valores observados, de unos 0,2°C por década, reforzando la confianza en las proyecciones a corto plazo. {1.2, 3.2}
- Los experimentos con modelos muestran que incluso si todos los agentes de forzamiento radiativo se mantienen constantes en los niveles del año 2000, se produciría una mayor tendencia a un calentamiento que continuaría en las dos próximas décadas a un índice de 0,1°C por década, debido principalmente a la lenta respuesta de los océanos. Podría esperarse un calentamiento de aproximadamente el doble (0,2°C por década) si las emisiones se mantuvieran en el rango de los escenarios de IE-EE. La mejor estimación de proyección de los modelos indica que el calentamiento medio de la década, sobre cada continente habitado, en 2030, es indiferente a la elección entre escenarios IE-EE, y es muy probable que sea al menos el doble que el correspondiente a la variabilidad natural prevista por el modelo para el siglo XX. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2-11.7, Figura TS-29}

(14) IE-EE se refiere al Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones del IPCC (2000). Las familias de escenarios IE-EE y los casos ilustrativos, que no incluían iniciativas climáticas adicionales, se resumen en la casilla al final de este documento. Las concentraciones de CO<sub>2</sub> equivalente aproximadas, debidas a gases de efecto invernadero y aerosoles antropogénicos en 2100, correspondientes al forzamiento radiativo calculado para los proyectos de escenarios indicativos de IE-EE B1, A1T, B2, A1B, A2 y A1F1 esta alrededor de 600, 700, 800, 850, 1250 y 1550 respectivamente. Los estudios comparativos entre los distintos escenarios se han centrado en los escenarios B1, A1B y A2 y muchos de los restados procedentes de los mismos se han evaluado en este informe.

**La continuidad de las emisiones de los gases de efecto invernadero en los índices actuales, o un aumento de estos índices, ocasionaría un mayor calentamiento e induciría muchos cambios en el sistema climático global durante el siglo XXI que *muy probablemente* serán mayores que aquellos observados durante el siglo XX. {10.3}**

- Los avances en modelización de cambio climático permiten ahora mejores estimaciones y un rango de incertidumbre probable para ser utilizados en las proyecciones de calentamiento en diferentes escenarios de emisiones. Los resultados para los diferentes escenarios de emisiones se proporcionan explícitamente en este informe para evitar la pérdida de esta información relevante *para las políticas*. El calentamiento de la superficie previsto para finales del siglo XXI (2090-2099) respecto a 1980-1999 se muestra en la tabla SPM-3. *Ilustran las diferencias entre los escenarios IE-EE con mayores y menores emisiones, así como las incertidumbres de calentamiento proyectadas asociadas con estos escenarios.* {10.5}.
- Las mejores estimaciones y los rangos de probabilidad para el calentamiento medio del aire en superficie para los seis escenarios indicativos de emisiones de IE-EE se proporcionan en esta evaluación y se muestran en la tabla SPM-3. Por ejemplo, la mejor estimación para el escenario bajo *en emisiones* (B1) es *de 1,8°C* (rango de probabilidad entre 1,1 y 2,9°C), y la mejor estimación del escenario *con mayores emisiones* (A1FI) es *de 4,0°C* (rango de probabilidad es 2,4 a 6,4°C). Aunque estas proyecciones son consistentes con el intervalo proporcionado en el TIE (1,4-5,8°C), no son directamente comparables. *(véase la ilustración SPM.5)* El Cuarto Informe de Evaluación es más avanzado y proporciona mejores estimaciones y rangos de probabilidad evaluados para cada escenario indicativo. La nueva evaluación de los rangos de probabilidad se basa en un gran número de modelos climáticos de mayor complejidad y realismo, así como en nueva información referente a la naturaleza de las retroacciones del ciclo de carbono y a las limitaciones de las observaciones de la respuesta del clima. {10.5}.
- El calentamiento tiende a reducir la captación de carbono atmosférico por la tierra y los océanos, aumentando la fracción de emisiones antropogénicas que permanecen en la atmósfera. Para el escenario A2, por ejemplo, las retroacciones del ciclo carbono-clima aumentan el calentamiento medio correspondiente en 2100 en más de 1°C. Los rangos más altos evaluados para las proyecciones de temperaturas son mayores que en el TIE (tabla SPM-3) principalmente debido al mayor rango de modelos ahora disponibles, que sugieren retroacciones del ciclo carbono-clima más fuerte. {7.3, 10.5}

**Tabla SPM-3.** *Calentamiento de la superficie y aumento del nivel del mar medios previsto para finales del siglo XXI. {10.5, 10.6, Tabla 10.7}c*

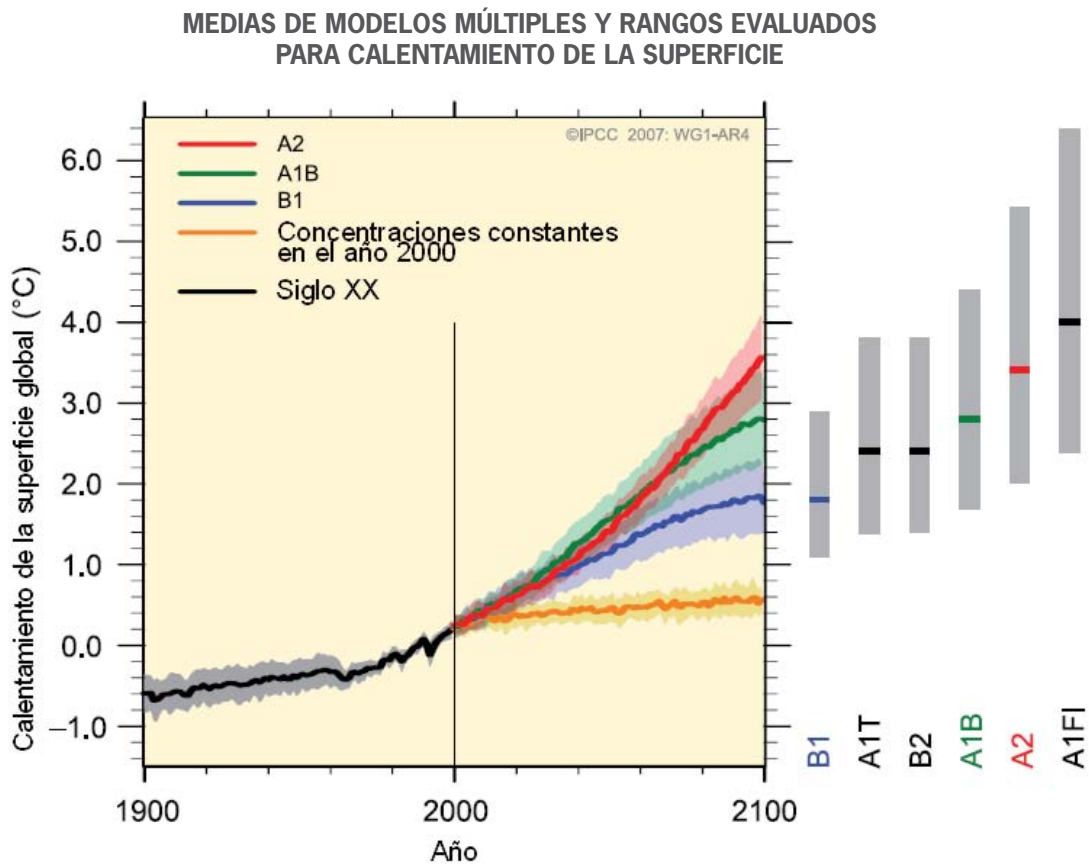
Caso	Cambio en la temperatura (°C en 2090-2099 con respecto a 1980-1999) <sup>a</sup>		Incremento del nivel del mar (m en 2090-2099 con respecto a 1980-1999)
	Mejor estimación	Rango de probabilidad	Rango basado en modelos excluyendo cambios dinámicos futuros rápidos en el flujo de hielo
Concentraciones constantes año 2000 <sup>c</sup>	0,6	0,3-0,9	No aplicable
Escenario BI	1,8	1,1-2,9	0,18-0,38
Escenario AIT	2,4	1,4-3,8	0,20-0,45
Escenario B2	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
Escenario A1B	2,8	1,7-4,4	0,21-0,48
Escenario A2	3,4	2,0-5,4	0,23-0,51

Notas:

(a) Estas estimaciones se han evaluado a partir de una jerarquía de modelos que engloba un modelo climático simple, varios EMICs (Modelos de Sistemas Terrestres de Complejidad Intermedia) y un gran número de AOGCMs (Modelos de Circulación General Océano-Atmósfera).

(b) La composición constante del año 2000 se ha obtenido sólo a partir del AOGCMs

- Las proyecciones basadas en modelos del aumento medio del nivel del mar a finales del siglo XXI (2090-2099) se muestran en la tabla SPM-3. Para cada escenario, el punto medio del rango en la tabla SPM-3 esta dentro del 10% del modelo medio del TIE para 2090-2099. Los rangos son más estrechos que en el TIE, principalmente debido a una mejor información sobre algunas incertidumbres en las contribuciones previstas<sup>15</sup>.{10.6}



**Ilustración SPM.5.** Las líneas continuas muestran las medias globales para modelos múltiples sobre el calentamiento de la superficie (correspondiente al período 1980-1999) para los escenarios A2, A1B y B1, que figuran como continuaciones de las simulaciones del siglo XX. El sombreado representa el rango de desviación estándar del  $1\pm$  para las medias del modelo anual individual. La línea naranja representa el experimento en el que se mantuvieron los valores de las concentraciones constantes a niveles del 2000. Las barras grises a la derecha señalan la mejor estimación (línea marcada en cada barra) y el rango de probabilidad para los seis marcadores de IE-EE. La evaluación de la mejor estimación y los rangos de probabilidad que se indican en las barras grises incluyen las AOGCMs a la izquierda de la ilustración. Así como los resultados a partir de una jerarquía de modelos independientes y limitaciones en la observación. (Ilustraciones 10.4 y 10.29)

- Los modelos usados hasta la fecha no incluían los efectos completos de los cambios en el flujo de las placas de hielo, ni las incertidumbres en las retroacciones del ciclo clima-carbono debido a que falta literatura publicada. Las proyecciones incluyen una contribución debida al incremento del flujo de hielo de Groenlandia y la Antártida a las tasas observadas de 1993 a 2003, pero estas tasas podrían aumentar o disminuir en el futuro. Por ejemplo, si esta contribución fuera a crecer linealmente con el cambio de la temperatura media global, los rangos más elevados del aumento del nivel del mar para los escenarios IE-EE mostrados en la tabla SPM-3 se incrementaría entre 0.1

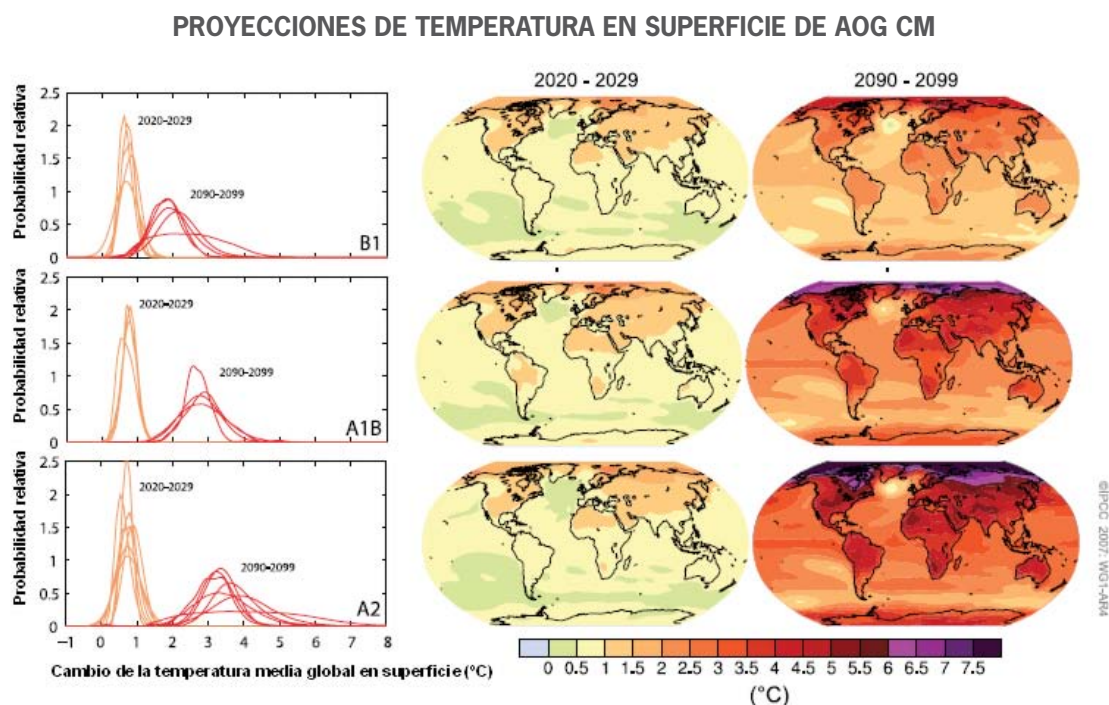
(15) Las proyecciones del TIE se hicieron para 2100, mientras que en este informe son para 2090-2099. El TIE hubiera dado rangos similares a los de la tabla SPM-3 si hubiera considerado las incertidumbres de la misma manera.

y 0.2m. No pueden excluirse valores mayores pero el conocimiento de estos efectos es demasiado limitado para valorar su probabilidad o proporcionar una mejor estimación o un límite superior para el aumento del nivel del mar. {10.6}

- Las concentraciones crecientes de dióxido de carbono atmosférico llevan consigo un incremento en la acidificación del océano. Las proyecciones basadas en los escenarios IE-EE arrojan unas reducciones en el pH<sup>16</sup> de entre 0,14 y 0,35 unidades en el siglo XXI, ampliando el decrecimiento actual de 0,1 desde la era preindustrial. {5.4, Casilla 7.3, 10.4}

**Los patrones de calentamiento y otras características a escala regional tienen actualmente un nivel más alto de confianza, incluyendo los cambios en los patrones de viento, precipitación, y algunos aspectos de extremos y de hielo. . {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 10.3, 11.1}**

- El calentamiento en el siglo XXI muestra patrones geográficos, independientes del escenario, similares a aquellos observados en las últimas décadas. Se espera que el calentamiento sea mayor en tierra y en la mayoría de las latitudes altas del norte, y menor en los océanos del sur y partes del Atlántico norte. (ver Ilustración SPM-5). {10.3}

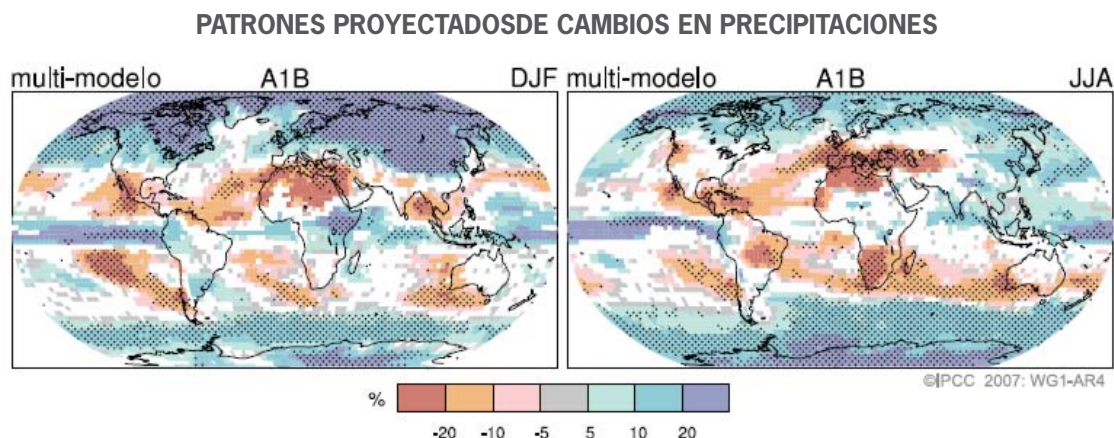


**Ilustración SPM-5.** Cambios previstos de las temperaturas medias para principios y finales del siglo XXI respecto al periodo 1980-1990. Los paneles central y derecho muestran la media para las previsiones multi-modelo de AOGCM en los escenarios IE-EE B1 (superior), A1B (en el medio) y A2 (inferior), promediados para las décadas 2020-2090 (centro) y 2090-2099 (derecha). El panel de la izquierda muestra las incertidumbres correspondientes como la probabilidad relativa del calentamiento medio global a partir de varios AOGCM distintos y de estudios de Complejidad Intermedia de Modelos de Sistemas Terrestres durante los mismos periodos. Algunos estudios presentan resultados sólo para un subconjunto de escenarios IE-EE, o para varias versiones de modelos. De hecho, la diferencia en la cantidad de curvas mostradas en los paneles situados a la izquierda se debe sólo a diferencias en cuanto a la disponibilidad de los resultados {Ilustraciones 10.8 y 10.28}.

- La capa de nieve está previsto que se contraiga. Está previsto un incremento general de la profundidad del deshielo en la mayoría de las regiones de permafrost. {10.3, 10.6}
- El hielo del mar disminuirá en el Ártico y en el Antártico bajo todos los escenarios IE-EE. En algunas proyecciones, el hielo marino que actualmente existe a finales de verano en el Ártico desaparecerá casi enteramente en la última parte del siglo XXI. {10.3}

(16) Los descensos en el pH se corresponden con incrementos en la acidez de la solución. Ver Glosario para más detalles.

- Es *muy probable* que los episodios de calor extremo, olas de calor y precipitaciones fuertes sigan siendo cada vez más frecuentes. {10.3}
- Basado en un rango de modelos, es probable que los ciclones tropicales (tifones y huracanes) tiendan a ser más intensos, con mayores picos en velocidades del viento y precipitaciones más fuertes, asociadas con los incrementos que están teniendo lugar en la temperatura superficial de los mares tropicales. Hay poca confianza en las proyecciones de un decrecimiento global en el número de ciclones tropicales. El incremento aparente en la proporción de las tormentas intensas desde 1970 en algunas regiones es mucho mayor que la simulada por los modelos actuales para ese periodo. {9.5, 10.3,3.8}
- Está previsto que las trayectorias ciclónicas se desplacen hacia los polos, con los consecuentes cambios en los patrones de vientos, precipitación y temperatura fuera de los trópicos, continuando con el patrón de las tendencias observadas en el último medio siglo. {3.6, 10.3}
- Desde el TIE hay una mejora del conocimiento de los patrones de precipitaciones. Los aumentos en la cantidad de las precipitaciones son *muy probables* en latitudes altas, mientras que los descensos son *probables* en la mayoría de las regiones subtropicales (aproximadamente un 20% en el escenario A1B en 2100, véase la ilustración SPM-7), continuando con los patrones de tendencias observados recientemente. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 a 11.9}



**Figura SPM-7.** Cambios relativos en precipitaciones (en porcentaje) para el periodo 2090-2099, con respecto a 1950-1999. Los valores son medias multi-modelo basadas en el escenario A1B del IE-EE para diciembre-febrero (izquierda) y junio-agosto (derecha) las áreas blancas representan áreas donde menos del 66% de los modelos están de acuerdo en el signo del cambio y las áreas punteadas donde más del 90% de los modelos están de acuerdo en el signo del cambio. {Ilustración 10.9}

- Basado en las actuales simulaciones con modelos, es muy probable que la circulación meridional de retorno (CMR) del Atlántico norte disminuya de velocidad durante el siglo XXI. La media de reducción estimada multi-modelo es del 25% en 2100 (rango de cero a aproximadamente el 50%) para el escenario de emisiones IE-EE A1B. Está previsto que las temperaturas en la región atlántica crezcan, a pesar de que los cambios en el calentamiento estarán más asociados con los incrementos previstos de gases de efecto invernadero. Es *muy improbable* que el CMR experimente una brusca transición durante el siglo XXI. Los cambios a largo plazo en el CMR no pueden ser valorados con fiabilidad. {10.3, 10.7}

**El calentamiento antropogénico y la elevación del nivel del mar continuarán durante siglos debido a las escalas de tiempo asociadas con los procesos climáticos y con la retroacción, incluso aunque se estabilizasen las concentraciones de gases de efecto invernadero. {10.4, 10.5, 10.7}**

- Está previsto que el acoplamiento de los ciclos carbono-clima añada dióxido de carbono a la atmósfera según el sistema climático se vaya calentando, pero la magnitud de esta retroacción es incierta. Esto aumenta la incertidumbre en la trayectoria de las emisiones requeridas de dióxido de carbono necesarias para alcanzar un nivel de estabilización particular de la concentración de dióxido de carbono. Basado en los conocimientos actuales de las retroacciones del ciclo carbono-clima los

estudios por modelos sugieren que, para estabilizar el dióxido de carbono en 450 ppm, se requeriría que las emisiones acumuladas en el siglo XXI se redujeran de una media de aproximadamente 670 [630 a 710] GtC a 490 [375 a 600] GtC. Igualmente, para estabilizar a 1000 ppm esta retracción requeriría que las emisiones acumuladas se redujesen de una media de modelo de 1415 [1340 a 1490] GtC (5190 [4910 a 5460] GtCO<sub>2</sub>) a 1100 [980 a 1250] GtC (4030 [3590 a 4580] GtCO<sub>2</sub>). {7.3, 10.4}

- Si el forzamiento radiativo se estabilizase en 2100 a niveles de B1 o A1B14 debería resultar en un aumento de la temperatura media global en unos 0,5°C, principalmente en 2200. {10.7}
- Si el forzamiento radiativo se estabilizase en 2100 en los niveles de A1B14, la expansión térmica podría conducir aun aumento del nivel del mar de 0,3 a 0,8 m en 2300 (respecto a 1980-1999). La expansión térmica continuaría durante varios siglos, debido al tiempo necesitado para transportar el calor hasta las profundidades del océano. {10.7}
- La contracción de la placa de hielo de Groenlandia continuará contribuyendo al aumento del nivel del mar después de 2100. Los modelos actuales sugieren que las pérdidas de masa se incrementan con la temperatura mas rápidamente de lo que ganan debido a la precipitación, y que el balance de la masa de superficie empieza a ser negativo **tomando como punto de referencia la media de calentamiento global** (respecto a valores preindustriales) mayor de 1,9 a 4,6°C. Si se mantiene un balance de masa de superficie negativo durante un milenio, esto conllevaría la eliminación prácticamente completa de esta placa de hielo de Groenlandia y el nivel del mar se incrementaría en unos 7 m. Las temperaturas futuras de Groenlandia correspondientes son comparables a aquellas deducidas para el último periodo inter-glaciario, hace 125.000 años, cuando la información paleoclimática sugiere la reducción de la extensión de hielo polar y un aumento del nivel del mar de 4 a 6 m. {6.4, 10.7}
- Los procesos dinámicos relativos a flujos de hielo no incluidos en los modelos actuales, pero sugeridos por observaciones recientes, podrían aumentar la vulnerabilidad de las placas de hielo frente al calentamiento, aumentando el nivel del mar en el futuro. El conocimiento de estos procesos es limitado y no hay consenso sobre su magnitud. {4.6, 10.7}
- Los estudios de modelos globales actuales prevén que la placa de hielo de la Antártida se mantendrá demasiado fría para que el derretimiento generalizado sea muy extenso y se espera que gane en masa debido al aumento de las nevadas. Sin embargo, habría una pérdida neta de masa de hielo si la descarga de hielo dinámica dominase el balance de masa de la placa de hielo. {10.7}
- Las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono continuarán contribuyendo al calentamiento y al aumento del nivel del mar durante más de un milenio, debido a las escalas de tiempo requeridas para eliminar este gas de la atmósfera. {7.3, 10.3}

## ESCENARIOS DE EMISIONES DEL INFORME ESPECIAL SOBRE ESCENARIOS DE EMISIONES (IE-EE) DEL IPCC<sup>17</sup>

A1. El argumento de A1 y la familia del escenario describe un mundo futuro en un muy rápido crecimiento económico, con crecimientos de población que alcanzan puntos álgidos a mitad de siglo y disminuyen a partir de ahí, y la rápida introducción de tecnologías nuevas y muy eficientes. Los temas subyacentes principales son la convergencia entre regiones, la capacidad de construcción y un aumento en la interacción social y cultural, con una disminución substancial de las diferencias regionales de ingresos per cápita. La familia del escenario A1 se desarrolla en tres grupos que describen las direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema energético. Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis en lo tecnológico: énfasis en los combustibles (A1F1), fuentes energéticas no derivadas de combustibles (A1T), o un equilibrio entre todas las fuentes (A1B) (donde equilibrio se define como el no depender con demasiada intensidad de una fuente energética en concreto, en el supuesto de que tipos de mejora parecidos se apliquen a todos los suministros de energía y uso final de tecnologías).

A2. El argumento y escenario de la familia describe un mundo muy heterogéneo. El tema subyacente es la auto-dependencia y conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad entre las regiones convergen muy lentamente, lo cual da como resultado una población en continuo crecimiento. El desarrollo económico se orienta principalmente hacia las regiones y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico está más fragmentado y es más lento que en otros argumentos.

B1. El argumento y escenario de la familia B1 describe un mundo en convergencia con la misma población global, que experimenta un punto álgido a mitad de siglo y desciende a partir de ese punto, igual que en el argumento A1, pero con un rápido cambio en las estructuras económicas hacia una economía de servicios e información. El énfasis está en las soluciones globales para una sostenibilidad económica, social y medioambiental incluyendo una equidad mejorada pero sin iniciativas climáticas adicionales.

B2. El argumento y escenario de la familia B2 describe un mundo en el que el énfasis se da en soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo con una población global en continuo aumento, a un ritmo menor que en el caso A2, niveles intermedios de desarrollo y un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en los argumentos de B1 y A1. Aunque el escenario está también orientado hacia la protección medioambiental y hacia la equidad social, se centra en los niveles locales y regionales.

Se ha seleccionado un escenario ilustrativo para cada uno de los seis grupos de escenarios A1B, A1F1, A1T, B1 Y B2. Todos deberían considerarse válidos por igual.

Los escenarios SRES no incluyen iniciativas climáticas adicionales, lo cual significa que no se ha incluido ningún escenario que explícitamente asuma la ejecución de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático o los objetivos de emisiones del Protocolo de Kyoto.



**JUNTA DE ANDALUCÍA**  
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Traducción no oficial, cortesía de  
la Consejería de Medio Ambiente  
de la Junta de Andalucía



Colabora:

**FUNDACIÓN GONDWANA PARA  
EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

C/ Gracia, 19. 2-lzq.  
18002. Granada.  
958 521 014  
[www.fundaciongondwana.es](http://www.fundaciongondwana.es)





**CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO I  
AL CUARTO INFORME DE EVALUACIÓN  
GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE  
EXPERTOS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO**

**RESUMEN PARA RESPONSABLES DE POLÍTICAS**